



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 199 09 390 C 1

51 Int. Cl.7:
B 23 K 26/34

21 Aktenzeichen: 199 09 390.3-34
22 Anmeldetag: 4. 3. 1999
43 Offenlegungstag: –
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 9. 11. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE
74 Vertreter:
PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 01217
Dresden

72 Erfinder:
Nowotny, Steffen, Dr.-Ing., 01445 Radebeul, DE;
Scharek, Siegfried, Dipl.-Ing., 01705 Freital, DE

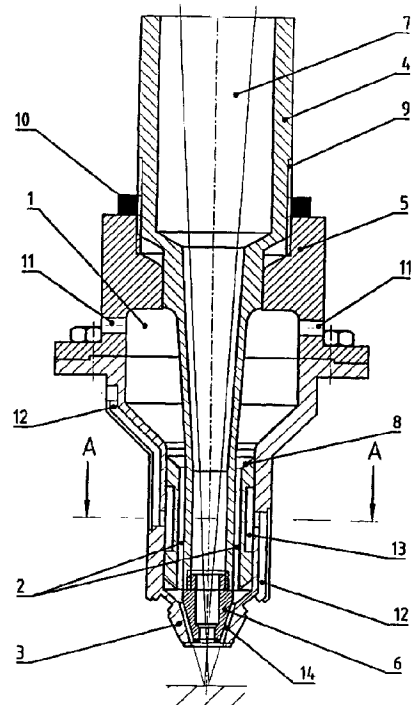
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 54 18 350 A
US 47 24 299

BEYER, E., (u.a.): Oberflächenbehandlung
und Laserstrahlung, Berlin, u.a., Springer Verlag,
1998, S. 300, 301;

54 Bearbeitungskopf und Verfahren zur Oberflächenbearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahl

57 Die Erfindung betrifft einen Bearbeitungskopf sowie ein Verfahren zur Oberflächenbearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahl, bei dem unter Verwendung eines zugeführten pulverförmigen Zusatzwerkstoffes, eine Beschichtung, eine Auflegierung im oberflächennahen Bereich oder ein Dispergieren einer Randzone des Grundmaterials mit Pulverpartikeln durchgeführt werden kann. Mit der Erfindung soll es dabei möglich werden, den zugeführten Pulvermassenstrom auch richtungsabhängig nahezu konstant zu halten, wobei ein gleichförmiger Pulver-Hohlstrahl ausgebildet werden soll. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß in einem Gehäuse des Bearbeitungskopfes eine Verwirbelungskammer ausgebildet ist, in die ein Pulver-Gasstrom zumindest über eine Einströmöffnung eingeführt und der Pulver-Gasstrom durch einen konischen Ringspalt, als koaxialer Hohlstrahl, wie auch der durch das Gehäuse geführte Laserstrahl auf eine Werkstückoberfläche gerichtet ist und zwischen der Verwirbelungskammer und dem Ringspalt parallel zur Längsachse des Laserstrahls ausgeordnete Beruhigungskanäle in radialsymmetrischer Anordnung vorhanden sind.



DE 199 09 390 C 1

DE 199 09 390 C 1

Die Erfindung betrifft einen Bearbeitungskopf sowie ein Verfahren zur Oberflächenbearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahl, bei dem unter Verwendung eines zugeführten pulverförmigen Zusatzwerkstoffes, eine Beschichtung, eine Auflegierung im oberflächennahen Bereich oder ein Dispergieren einer Randzone des Grundmaterials mit Pulverpartikeln durchgeführt werden kann, so daß die Geometrie und/oder die Oberflächeneigenschaften eines Werkstückes gezielt beeinflußt werden können. Die Erfindung ist dabei insbesondere für Anwendungen geeignet, bei denen zwischen dem verwendeten Laserstrahl und dem Werkstück eine Relativbewegung durchgeführt wird und diese Relativbewegung häufig wechselnde Richtungen aufweist. Die erfindungsgemäße Lösung kann zum Beschichten, Regenerieren von Werkzeugen und Bauteilen, wie z. B. für die Gießertechnik, der Metallformung, der Schneidtechnik sowie im Motoren- und Turbinenbau Verwendung finden. Außerdem ist sie für die unter die Oberbegriffe "Rapid Prototyping" und Rapid Tooling" fallenden Bearbeitungsverfahren geeignet.

Von E. Beyrer und K. Wissenbach ist in "Oberflächenbehandlung mit Laserstrahlung"; Springer-Verlag; 1998, Seiten 300 und 301 auf Möglichkeiten zur pneumatischen Förderung von Pulvern und u. a. auch auf sogenannte koaxiale Düsen hingewiesen worden, wobei ein Laserstrahl durch eine solche zum Teil hohle Düse auf ein Werkstück zu dessen Oberflächenenerwärmung gerichtet und ein Pulver-Gasstrom durch eine solche Düse als sich konisch verjüngender Hohlstrahl ebenfalls auf die Oberfläche eines Werkstückes gerichtet werden kann.

Daneben ist aus US 4,724,299 ein entsprechender Bearbeitungskopf bekannt, der ein zweigeteiltes Gehäuse aufweist. Die beiden Teile dieses Gehäuses können teleskopförmig in bezug zueinander verschoben werden, um eine Möglichkeit zu schaffen, die Fokusslage eines Pulverstrahls auf die Fokusslage des Laserstrahls abzustimmen, so daß dieser Pulverstrahl bereits vor dem Auftreffen auf der Oberfläche eines Werkstückes erwärmt wird. Dabei müssen sowohl der Pulverstrahl, wie auch der Laserstrahl gemeinsam durch eine düsenförmige Öffnung. Hierfür ist jedoch ein entsprechender Durchmesser einer solchen düsenförmigen Öffnung erforderlich und dementsprechend wird ein zylinderförmiger Pulverstrahl mit entsprechender Größe auf die Oberfläche eines Werkstückes gerichtet, so daß das Pulver im Überschuß zugeführt wird und entsprechend hohe Pulververluste zu verzeichnen sind.

In US 5,418,350 ist eine Pulverzuführung in Verbindung mit einem Laserbearbeitungskopf beschrieben, bei dem eine Düse verwendet wird, über die Pulver durch mindestens einen konischen Ringspalt auf die Oberfläche eines Substrates geführt und dort mittels eines Laserstrahles aufgeschmolzen wird.

Bei dieser Lösung wird das Pulver mit einem Gasstrom über Pulvereinlässe eingeführt und es gelangt über in einer Lochscheibe ausgebildete Bohrungen in eine relativ großformatige Kammer. In der Kammer treten Verwirbelungen auf, die insbesondere bei Pulvern, deren Einzelbestandteile unterschiedliche Dichten aufweisen, zur Entmischung führen können. Aus dieser Kammer gelangt das Pulver unmittelbar in einen konischen Ringspalt, durch dessen Querschnittsverringerung eine Erhöhung der Fördergeschwindigkeit auftritt, die sich ungünstig auf die Pulverausnutzung und den Schichtbildungsvorgang auswirkt. Infolge der Verwirbelung in der Kammer können wechselnde Druckverhältnisse und demzufolge auch wechselnde Fördergeschwindigkeiten auftreten, so daß sich die geförderte Pul-

verrate zeitlich ändern kann, wobei sich dies insbesondere beim Aufbringen von Schichten oder der Ausbildung von gewünschten Konturen auf solchen Werkstücken negativ auswirkt.

An der dort beschriebenen Vorrichtung ist außenseitig ein Kühlsystem angesetzt, mit dem jedoch nicht unbedingt die besonders kritischen Bereiche ausreichend gekühlt werden können und außerdem zwischen Kühlmittel und Innerem, die vollständige Wandung des Gehäuseteiles liegt.

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Möglichkeit zu schaffen, mit der eine Oberflächenbearbeitung mittels Laserstrahlen durchgeführt werden kann, bei der ein Pulver zugeführt wird, wobei der zugeführte Pulvermassenstrom auch richtungsunabhängig nahezu konstant und der Pulver-Hohlstrahl gleichförmig gehalten werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich mit den in den untergeordneten Ansprüchen enthaltenen Merkmalen.

Ein erfindungsgemäßer Bearbeitungskopf kann relativ zu einer Werkstückoberfläche in mindestens zwei Achsrichtungen eine Relativbewegung in bezug zum Werkstück durchführen, wobei einmal ein solcher Bearbeitungskopf allein, das Werkstück allein oder Bearbeitungskopf und Werkstück gemeinsam entsprechend bewegt werden können, so daß eine schnelle und lokal gezielte Oberflächenbearbeitung durch legen von Spuren, auch mit häufigem Richtungswechsel, möglich ist.

Der Bearbeitungskopf ist dabei so aufgebaut, daß durch ihn ein Laserstrahl, einen einstellbaren Strahlfleck auf der Oberfläche eines Werkstückes ausbildend, geführt werden kann. Hierfür ist ein Gehäuse entsprechend ausgebildet, so daß ein Hohlraum, parallel zur Längsachse des Laserstrahls vorhanden ist, durch den der Laserstrahl entsprechend fokussiert auf die Werkstückoberfläche gerichtet werden kann.

Innerhalb des Gehäuses ist eine Verwirbelungskammer um den Hohlraum, durch den der Laserstrahl geführt wird, rotationssymmetrisch ausgebildet, in den ein Pulver-Gasstrom durch mindestens eine Einströmöffnung, bevorzugt im oberen Teil der Verwirbelungskammer, eingeführt wird. In der Verwirbelungskammer erfolgt eine gleichmäßige Verteilung des Pulvers in Form einer sich koaxial zum Laserstrahl ausbildende Pulverwolke sowie eine intensive Vermischung des Pulvers. Die Verwirbelungskammer mündet in ihrem unteren Bereich, bevorzugt über einen sich konisch verjüngenden Einlauftrichter in mehrere parallel zur Längsachse des Laserstrahls angeordnete Beruhigungskanäle, die radialsymmetrisch und in gleichem Abstand, über den Umfang verteilt, angeordnet sind. Die Beruhigungskanäle münden dann in einen sich konisch in Richtung auf die Oberfläche des Werkstoffes verjüngenden Ringspalt, in dem keinerlei Stege oder andere Verwirbelungselemente enthalten sind. Das Pulver tritt dann aus dem Ringspalt, als sich ebenfalls konisch verjüngender Pulver-Hohlstrahl aus, wobei der Fokuspunkt dieses konisch verjüngenden Pulver-Hohlstrahls außerhalb des Gehäuses und demzufolge auch außerhalb des Bearbeitungskopfes liegt. Günstigerweise wird der Ringspalt so ausgebildet und weist entsprechende Neigungswinkel auf, daß er unter Berücksichtigung des Abstandes zur Oberfläche des Werkstückes einen sich konisch verjüngenden Pulver-Hohlstrahl ausbildet, dessen Fokuspunkt unmittelbar auf der Werkstückoberfläche liegt.

Die Größe des Fokuspunktes des Pulver-Hohlstrahls sollte dabei, zumindest annähernd der Größe des Strahlflekes des Laserstrahls auf der Oberfläche des Werkstückes entsprechen, so daß eine optimale Pulverausnutzung erreicht werden kann.

Mit den zwischen der Verwirbelungskammer und dem Ringspalt angeordneten Beruhigungskanälen, insbesondere durch deren parallele Ausrichtung zur Längsachse des Laserstrahls und auch deren Form und Abmessungen kann eine gleichmäßige Pulverförderung mit sehr kleinen Pulvermassenstromschwankungen unterhalb 5% erreicht werden, so daß bei einer entsprechenden Oberflächenbearbeitung eines Werkstückes im wesentlichen auf zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. eine Steuerung der Laserleistung verzichtet werden kann und trotzdem ein gezielter Schichtaufbau bzw. eine gezielte Beeinflussung von Oberflächenbereichen durch Legieren bzw. Dispergieren an einem Werkstück erreicht werden können.

Die Beruhigungskanäle sollten eine Länge von mindestens 10 mm aufweisen, um den gewünschten Effekt zu erreichen.

Vorteilhafterweise können an der Verwirbelungskammer auch zwei Einströmöffnungen vorhanden sein, die bevorzugt, an sich radial gegenüberliegenden Seiten der Verwirbelungskammer angeordnet sind. Hierdurch ist es auch möglich, Pulver verschiedener Zusammensetzung zu verwenden, die dann in der Verwirbelungskammer homogen vermischt und dann als homogene Mischung über die Beruhigungskanäle und den Ringspalt auf die Oberfläche gerichtet werden kann.

Die Beruhigungskanäle werden günstigerweise so dimensioniert, daß die Summe ihrer freien Querschnitte zumindest nicht kleiner als der freie Querschnitt der einen bzw. mehrerer Einströmöffnungen ist. Dies führt dazu, daß in der Verwirbelungskammer, den Beruhigungskanälen und im Ringspalt nahezu konstante Druckverhältnisse und Strömungsgeschwindigkeiten erreicht werden können, die, wie bereits erwähnt, zu einer gleichmäßigen Förderung des Pulvers führen.

Vorteilhaft ist es außerdem, wenn das Gehäuse aus zwei Teilen gebildet ist, die entlang der Längsachse des Laserstrahls relativ, wie bei einem Teleskop, zueinander verschoben werden können. Dabei bilden die beiden Teile auch den Ringspalt, durch entsprechend konisch sich verjüngend ausgebildete Wandungen aus. Erfolgt nun eine entsprechende Relativbewegung der beiden Teile des Gehäuses, kann die lichte Weite des Ringspaltes variiert werden, wobei der Konuswinkel beibehalten wird. Durch diese Variation der lichten Weite des Ringspaltes kann Einfluß auf den momentanen geförderten Pulverstrom und den Durchmesser und die Querschnittsfläche des Pulverstrahls auf der Werkstückoberfläche genommen werden. Dabei kann eine relativ kleine Zeitkonstante erreicht werden, die wesentlich kleiner ist, als dies bei einer Steuerung des in die Verwirbelungskammer eingeführten Pulver-Gasstromes der Fall ist.

Die beiden Teile eines solchen Gehäuses können mittels herkömmlicher Gewinde verbunden sein, wobei bei entsprechend kleiner Steigung eines solchen Gewindes eine sehr genaue Einstellbarkeit der lichten Weite des Ringspaltes möglich ist. Am einfachsten kann eine eingestellte Position der beiden Teile eines Gehäuses mittels herkömmlicher Kontermutter festgestellt werden.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, einen zusätzlichen Drehantrieb vorzusehen, mit dem eine Einstellung der lichten Weite des Ringspaltes auch während der Bearbeitung möglich ist. Diese Einstellung kann sich günstig auswirken, wenn eine Bewegung in nahezu entgegengesetzter Richtung, also an solchen Umkehrpunkten, durchgeführt wird oder es kann die Pulverförderung sehr schnell unterbrochen werden, wenn Totwege, d. h. Bereiche einer Werkstückoberfläche überschritten werden, die unbeeinflusst bleiben sollen, zurückgelegt werden.

Anstelle eines solchen Drehantriebes kann auch ein ent-

sprechend geeigneter Linearantrieb verwendet werden, mit dem diese Relativbewegung der beiden Teile des Gehäuses durchgeführt werden kann.

In einfachster Form kann hierfür auch ein Elektromagnet verwendet werden, der jedoch bevorzugt dann eingesetzt werden soll, wenn lediglich eine Öffnungs- und eine Schließbewegung des Ringspaltes erforderlich ist.

Wird der Ringspalt mit einer der obengenannten Varianten geschlossen oder der Pulverstrom auf die Oberfläche des Werkstückes, z. B. durch Verschließen des Laserbearbeitungskopfes an seiner zur Werkstückoberfläche weisenden Seite gesperrt, ist es günstig, gleichzeitig die Pulverzufuhr zu sperren. Hierzu kann ein vor der/den Einströmöffnung(en) angeordnetes Ventil geschlossen werden. Günstiger ist es jedoch, an die Verwirbelungskammer einen Pulver-Gas-Auslaßkanal anzuschließen, der bei normalem Betrieb mit einem Ventil verschlossen ist. Wird aber der Ringspalt geschlossen, sollte nahezu gleichzeitig dieses Ventil geöffnet werden, um einen Druckanstieg und eine erhöhte Pulveransammlung in der Verwirbelungskammer zu vermeiden. Der Pulver-Gas-Auslaßkanal ist vorteilhaft mit dem Pulvervorratsbehälter verbunden, aus dem das Pulver im Regelfall in die Verwirbelungskammer gelangt und so Pulververluste vermieden werden können.

Günstigerweise sollte das Gehäuse zumindest überwiegend aus einem Material mit guter Wärmeleitung bestehen, so daß auch ein Langzeitbetrieb eines erfindungsgemäßen Bearbeitungskopfes möglich ist. Das Gehäuse kann beispielsweise aus Kupfer und/oder einer Kupfer-Legierung, wie Messing bestehen. Dabei können die beiden Teile eines Gehäuses ohne weiteres aus unterschiedlichen Materialien bestehen, wobei jedoch deren Wärmeausdehnungskoeffizienten beachtet werden sollten.

Vorteilhaft ist es außerdem, wenn das Gehäuse bzw. die beiden Teile eines solchen Gehäuses mit einer verschleißfesten Beschichtung versehen ist/sind, wie dies beispielsweise bei Nickel oder Nickel-Legierungen der Fall ist. Eine solche Beschichtung kann weiter den Vorteil haben, daß sie eine höhere Reflexion für die Laserstrahlung aufweist und zusätzlich eventuelle Spritztropfen schlechter anhaften.

Der unerwünschten Erwärmung eines erfindungsgemäßen Bearbeitungskopfes, die sicher bei einem Langzeitbetrieb, bei der Bearbeitung größerer bzw. komplex geformter Werkstücke auftritt, ist im Gehäuse eine Kühlung integriert. Hierfür sind Ringkanäle, als Kühlkanäle ausgebildet, durch die z. B. entsprechend temperiertes Wasser im Kreislauf und vorteilhaft außerhalb des Bearbeitungskopfes über einen Wärmetauscher geführt wird.

Durch Integration der Kühlkanäle und deren Anordnung in besonders kritischen Bereichen, also auch in der Nähe des Ringspaltes, kann eine gute Wärmeabführung erreicht werden, so daß eine verringerte Erwärmung zu verzeichnen ist.

Am Teil des Gehäuses, der in Richtung auf die Oberfläche des Werkstückes weist, kann eine zusätzliche Schutzschicht ausgebildet oder eine entsprechende Schutzscheibe angeordnet sein. Auch hierbei sollten die Reflexionseigenschaften und die Oberflächeneigenschaften bei Spritzern Beachtung finden.

Vorteilhaft kann es außerdem sein, wenn die besonders beanspruchten Teile eines erfindungsgemäßen Bearbeitungskopfes austauschbar sind. Dies ist z. B. eine entsprechende Düsen Spitze, die hohl gebohrt und durch die der Laserstrahl auf die Oberfläche des Werkstückes gerichtet ist. Dabei kann die äußere Mantelfläche einer solchen Düsen Spitze die Innenwandung des Ringspaltes bilden.

Entsprechend kann auch eine, bevorzugt konisch ausgebildete Außendüse verwendet werden, wobei ein Konus sowohl an der Außenseite dieser Außendüse, wie auch an der

inneren Mantelfläche ausgebildet ist. Die innere Mantelfläche dieser Außendüse bildet dann die äußere Wandung des Ringspalt. Da bekanntermaßen an den Wandungen des Ringspalt durch die Pulverbewegung und die dort sicher höheren Temperaturen ein erhöhter Verschleiß zu erwarten ist, können diese Teile relativ einfach und schnell bei Bedarf ausgetauscht werden.

Mit der Erfindung können sowohl Einzelspur-, wie auch Flächenbeschichtungen, wie dies insbesondere auch bei Freiformflächen der Fall ist, als Verschleiß- und Korrosionsschutz ausgebildet werden. Außerdem sind Reparaturbeschichtungen, wie sie beispielsweise bei Umformwerkzeugen infolge von Bruch oder Verschleiß erforderlich sind, durchgeführt werden. Es können aber auch einfache und formkomplizierte Körper generiert werden, wobei dichte Körper mit hoher mechanischer und thermischer Belastbarkeit erhalten werden können. Dies ist beispielsweise bei Verfahren des Rapid-Prototyping und Rapid Tooling der Fall. Mit der Erfindung kann ein Einschnitt-, aber auch ein mehrschichtiger Strukturaufbau mit mehreren hundert vertikal auch horizontal überlappenden Einzelspuren durchgeführt werden. Da solche Verfahren ununterbrochene Strahleingriffszeiten erforderlich machen, die einen Zeitaufwand von mehreren Stunden erfordern, wirkt sich die Ausbildung mit der entsprechenden Werkstoffauswahl und der integrierten Kühlung besonders günstig aus.

Durch die hohe Präzision, mit der die Pulverzuführung erreicht werden kann, kann eine hohe geometrische Genauigkeit der einzelnen Spuren (Breite, Höhe, Toleranzen entlang der Spur) eingehalten werden, die zu einer hohen Formtreue und kleinen Toleranzen bei Beschichtungen an Konturen führt. Außerdem können formgetreue Hohl- und Volumenkörper mit entsprechend hoher Maßhaltigkeit erhalten werden.

Außerdem kann auch die Materialzusammensetzung in einem so hergestellten Körper oder einer entsprechenden Beschichtung relativ einfach und gezielt eingestellt werden. Hierfür können verschiedene Pulver oder Pulvermischungen mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen ohne weiteres zur Verfügung gestellt werden. So kann beispielsweise über einen bestimmten Zeitraum lediglich ein Pulver der Verwirbelungskammer zugeführt werden und für die Beeinflussung bestimmter lokaler Bereiche eines Werkstückes kann zeitweise, beispielsweise zumindest ein zweites Pulver in die Verwirbelungskammer eingeführt werden.

Da die Pulverzufuhr koaxial zum Laserstrahl erfolgt, spielen Richtungsänderungen bei der Relativbewegung Bearbeitungskopf-Werkstück keine Rolle. In gleicher Weise wirkt sich auch die homogene Pulververteilung über den Querschnitt des Pulver-Hohlstrahls aus.

Bei verschiedenen Verfahren kann es erforderlich sein, durch Bewegung des Bearbeitungskopfes in vertikaler Richtung, den Abstand zwischen Bearbeitungskopf und Werkstückoberfläche konstant zu halten, so daß der Fokuspunkt des Pulver-Hohlstrahls und auch die Größe des Laserstrahlfleckes auf der Oberfläche des Werkstückes konstant gehalten werden kann. Dabei kann der Bearbeitungskopf beispielsweise mit einem hierfür geeigneten Manipulator, wie z. B. einem Industrieroboter, bevorzugt einem Gelenkarmroboter verbunden sein. Ein Industrieroboter ermöglicht dabei eine Bewegung des Bearbeitungskopfes in den drei zumindest erforderlichen Freiheitsgraden.

Mit den zwischen der Verwirbelungskammer und dem Ringspalt angeordneten Beruhigungskanälen wird erreicht, daß das Pulver nach der Zwangsführung in den Beruhigungskanälen beruhigt bleibt und mit definierter Strömungsrichtung und -geschwindigkeit in den sich konisch verjüngenden Ringspalt, dessen lichte Weite günstigerweise auch

einstellbar ist, eintreten kann. Mit dem Ringspalt kann ein kegelförmiger Pulver-Hohlstrahl mit einem minimalen Durchmesser bis zu 1 mm geformt werden. Der Ringspalt bildet dann das Ende des Strömungskanal, so daß der Pulverstrom durch keine weiteren Düsen Elemente beeinträchtigt wird. Der Fokuspunkt des Pulver-Hohlstrahls liegt dabei generell außerhalb des Bearbeitungskopfes und dadurch kann der kleinste Querschnitt dieses Pulver-Hohlstrahls unmittelbar genutzt werden. Durch die Gestaltung des Ringspalt zwischen der Düsen spitze und einer Außendüse kann eine Verteilung sämtlicher Pulverteilchen in einem Kernstrahl in konzentrierter Form erreicht und Pulverstreuungen am Düsenausgang weitestgehend vermieden werden. Daraus ergibt sich eine hohe Ausnutzung des zugeführten Pulvers und die Prozeßstabilität kann erhöht werden, da unkontrolliert gestreutes Pulver weitestgehend vermieden wird.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft beschrieben werden.

Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Schnittdarstellung eines Beispiels eines erfindungsgemäßen Bearbeitungskopfes und

Fig. 2 einen Schnitt entlang der Linie A-A, des in **Fig. 1** gezeigten Beispiels.

Bei dem in der **Fig. 1** gezeigten Beispiel eines erfindungsgemäßen Bearbeitungskopfes, wird ein aus zwei Teilen **4** und **5** gebildetes Gehäuse verwendet, die mit einem Gewinde **9** miteinander verbunden sind, wobei eine Feststellmöglichkeit in einer bestimmten Stellung durch eine zusätzliche Kontermutter **10** gegeben ist. Mit dem Gewinde **9** können die beiden Teile **4** und **5** des Gehäuses relativ zueinander verschoben werden, so daß eine teleskopförmige Verschiebung parallel zur Längsachse eines Laserstrahls **7** erreicht werden kann.

Der Laserstrahl **7** kann unter Verwendung einer hier nicht dargestellten Strahlführungs- und gegebenenfalls auch einer Strahlformungseinheit durch das Gehäuseteil **4** auf die Oberfläche eines schematisch angedeuteten Werkstückes gerichtet werden. Dabei wird die Fokussierung des Laserstrahls **7** so eingestellt, daß eine bestimmte Strahlfleckgröße auf der Oberfläche des Werkstückes erreicht werden kann, die in etwa mit der Größe eines Fokuspunktes eines Pulver-Hohlstrahls übereinstimmt. Dabei kann, wie in **Fig. 1** erkennbar, der Fokus des Laserstrahls **7** auch innerhalb des Gehäuses des Bearbeitungskopfes angeordnet sein.

In nicht dargestellter Form kann zusätzlich zum Laserstrahl **7** durch das Gehäuseteil **4** auch ein inertes Gas auf die Oberfläche des Werkstückes gerichtet werden, was zum einen eine verbesserte Kühlung ermöglicht und zum anderen von der Oberfläche aufspritzende Tröpfchen am Eindringen in das Gehäuse hindern kann.

Sowohl das Teil **4**, wie auch das Teil **5** des Gehäuses, sind bei diesem Beispiel rotationssymmetrisch um die Längsachse des Laserstrahls **7** ausgebildet. Zwischen Teil **4** und Teil **5** des Gehäuses ist eine das Teil **4** des Gehäuses umgebende Verwirbelungskammer **1** ausgebildet, in die sich radial gegenüberliegende Einstromöffnungen **11** im oberen Bereich der Verwirbelungskammer **1** einmünden. Durch die Einstromöffnungen **11** kann jeweils ein Pulver-Gasstrom in die Verwirbelungskammer **1** geführt werden, wobei im Inneren der Verwirbelungskammer **1** eine Vermischung, der gegebenenfalls verschiedenen Pulverkomponenten erfolgen kann. Die Verwirbelungskammer **1** ist in ihrem unteren Teil sich konisch verjüngend ausgebildet, wobei ein Neigungswinkel des Konus gewählt werden sollte, der ein Anhaften von Pulverpartikeln an der Innenwandung vermeidet.

Bei diesem Beispiel mündet die Verwirbelungskammer **1** in einen Einlaufrichter **8**, an dem wiederum Eintrittsöffnungen

gen für Beruhigungskanäle 2 vorhanden sind. Die Beruhigungskanäle 2 sind, wie in Fig. 1 erkennbar, parallel zur Längsachse des Laserstrahls 7 ausgerichtet und wie insbesondere in Fig. 2 erkennbar, radialsymmetrisch über den Umfang mit konstantem Abstand voneinander angeordnet. Das Pulver mit dem Trägergas gelangt dann durch die zylindrischen Beruhigungskanäle 2 in einen sich in Richtung auf die Oberfläche des Werkstückes konisch verjüngenden Ringspalt 14. Der Konuswinkel des Ringspaltes 14 sollte dabei so gewählt werden, daß der aus dem Ringspalt 14 austretende koaxiale Pulver-Hohlstrahl mit kleinem Durchmesser, bevorzugt in dessen Fokuspunkt, auf die Oberfläche des Werkstückes trifft.

Am Gehäuseeteil 4 ist eine austauschbare Düsen Spitze 6 vorhanden, die hier mit einem Gewinde mit dem Gehäuseteil 4 verbunden ist. Dabei bildet zumindest ein Teil der äußeren Mantelfläche der Düsen Spitze 6 die innere Wandung des Ringspaltes 14.

Am Gehäuseeteil 5 ist an dessen zur Oberfläche des Werkstückes weisenden Seite eine konisch ausgebildete Außendüse 3 vorhanden bzw. ausgebildet. Auch diese Außendüse 3 kann austauschbar gestaltet sein. Die innere Mantelfläche der Außendüse 3 bildet dann die äußere Wandung des Ringspaltes 14. Mit dieser Konstruktion kann die lichte Weite des Ringspaltes 14 durch entsprechende Drehung der beiden Gehäuseteile 4 und 5 variiert werden, wobei eine entsprechend des jeweiligen Drehwinkels mehr oder weniger große Relativbewegung der Gehäuseteile 4 und 5 in bezug zur Längsachse des Laserstrahls 7 erreicht werden kann.

Am Teil 5 des Gehäuses und außerdem am Teil 4 sind ein oder mehrere miteinander verbundene Kühlkanäle 12, 12' und 13 ausgebildet, durch die ein Kühlmittel, bevorzugt Wasser, insbesondere in den kritischen Teil des Bearbeitungskopfes gelangen kann. Der ringförmige Kühlkanal 13 kann insbesondere das innere Teil 4 mit Düsen Spitze 6 kühlen. Der Kühlkanal 12' beeinflusst insbesondere den Bereich der Außendüse 3. Mit dieser integrierten Kühlung kann auch die bei einer Langzeitbearbeitung kritische Erwärmung ohne weiteres beherrscht werden.

Mit einem solchen erfindungsgemäßen Bearbeitungskopf können z. B. verschlissene Werkzeuge wieder einsatzfähig gemacht werden. Dabei können geschädigte Werkzeugbereiche, auch Freiformflächen mit komplexer Geometrie, wieder hergestellt werden. Der Werkstoffauftrag auf solche Oberflächenbereiche erfordert aber höchste Präzision, die mit dem erfindungsgemäßen Bearbeitungskopf erreicht werden kann.

Bei einem verschlissenen Schmiedegesenk-Werkzeug kann in einem ersten Arbeitsschritt die verschlissene Ist-Kontur der Gesenkgravur mittels eines Digitalisierungssystems erfaßt und die Differenz zur bekannten Soll-Kontur ermittelt werden. Nachfolgend werden das ermittelte Differenzvolumen in eine Vielzahl horizontaler Ebenen zerlegt und mittels eines Postprocessors das NC-Programm zur Steuerung von Laser, Bearbeitungsmaschine mit Laserbearbeitungskopf und Pulverförderung generiert sowie die Strategie für den Werkstoffauftrag festlegt.

In einem weiteren Arbeitsschritt erfolgt dann die eigentliche Reparaturschweißung. Hierfür ist es erforderlich, den Werkstoff entsprechend, der vorab berechneten horizontalen Ebenen mit höchster Präzision aufzuschweißen und so das fehlende Werkstoffvolumen Schicht für Schicht wieder aufzubauen.

Dabei kann durch Defokussierung des Laserstrahls 7 (Z-Position der Fokussieroptik in bezug zur Werkstückoberfläche) ein Strahlfleck von etwa 2 mm Durchmesser auf der Werkstückoberfläche eingestellt werden. Im Anschluß daran wird der Bearbeitungskopf und hier insbesondere die Posi-

tion des Ringspaltes 14 in bezug zur Oberfläche des Werkstückes so eingestellt, daß der Fokuspunkt des Hohlpulverstrahls auf der Werkstückoberfläche liegt, so daß eine sehr gute Richtungsunabhängigkeit auch bei schnellen Bewegungen und Richtungsänderungen und eine hohe Pulverausnutzung erreicht werden können.

So kann bei einem solchen Schmiedegesenk-Werkzeug eine Auftragschweißung mit einem Pulver, z. B. Stellite 21, mit einer Förderrate von 8 g/min eingesetzt werden. Um die ebenen und gleichmäßigen Auftragsraupen zu erzielen, kann eine Laserleistung von 900 W und eine Vorschubgeschwindigkeit von 600 mm/min, unter Verwendung eines CO₂-Lasers, eingestellt werden. Unter diesen Bedingungen betragen die Breite einer Einzelraupe 1,6 mm und es ist ein Höhenzuwachs von Lage zu Lage in einer Ebene von 0,3 mm erreichbar.

Der erfindungsgemäße Bearbeitungskopf ermöglicht eine, wie bereits erwähnt, homogene Pulververteilung koaxial zum Laserstrahl 7 und es kann ein gleichmäßiger Werkstoffauftrag realisiert werden, der auch nach hunderten von Einzelraupen fehlerfrei ist. Es treten keine Schichtüberhöhungen an schroffen Geometrieübergängen auf. Auch unter Verzicht von zerspanenden Zwischenbearbeitungen kann eine sehr gute Konturgenauigkeit erreicht werden. Das neugebildete Gefüge ist fehlerfrei, vollständig dicht und die einzelnen Lagen in den verschiedenen übereinander ausgebildeten Ebenen sind fest miteinander verbunden. Durch die konstruktive Gestaltung des Bearbeitungskopfes, mit der erreichbaren intensiven Kühlung, können ununterbrochene Bearbeitungszeiten von mehreren Stunden, in stabiler Form, ohne weiteres realisiert werden.

Patentansprüche

1. Bearbeitungskopf zur Oberflächenbearbeitung mittels Laserstrahl, der ein Gehäuse, in dem eine Verwirbelungskammer ausgebildet ist, in die ein Pulver-Gasstrom über mindestens eine Einströmöffnung eingeführt und der Pulver-Gasstrom durch einen konischen Ringspalt, als koaxialer Hohlstrahl, der, wie auch der durch das Gehäuse geführte Laserstrahl, auf eine Werkstückoberfläche gerichtet ist, aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen Verwirbelungskammer (1) und Ringspalt (14) parallel zur Längsachse des Laserstrahls (7) zylindrische Beruhigungskanäle (2) in radialsymmetrischer Anordnung angeordnet sind.
2. Bearbeitungskopf nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verwirbelungskammer (1) über einen Einlauftrichter (8) in die Beruhigungskanäle (2) mündet.
3. Bearbeitungskopf nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zylindrischen Beruhigungskanäle (2) eine Länge von mindestens 10 mm aufweisen und über den Umfang des Einlauftrichters (8) in gleichmäßigen Abständen verteilt sind.
4. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Einströmöffnungen (11), sich radial gegenüberliegend, an der Verwirbelungskammer (1) vorhanden sind.
5. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe der freien Querschnittsflächen der Beruhigungskanäle (2) gleich groß oder größer als die freie Querschnittsfläche der Einströmöffnung(en) (11) ist.
6. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Konuswinkel des Ringspaltes (14) sichert, daß der Fokuspunkt des sich konisch verjüngenden Pulver-Hohlstrahls außerhalb

des Bearbeitungskopfes liegt.

7. Bearbeitungskopf nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungskopf so angeordnet oder geführt ist, daß der Fokuspunkt des coaxialen Pulver-Hohlstrahls auf der Oberfläche des Werkstückes liegt. 5

8. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse zweigeteilt ist; und die beiden Teile (4, 5) des Gehäuses relativ zueinander verschiebbar sind, wobei die beiden Teile (4, 5) des Gehäuses einen Ringspalt (14) variabler lichter Weite bilden. 10

9. Bearbeitungskopf nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Teile (4, 5) des Gehäuses mit einem Gewinde verbunden sind. 15

10. Bearbeitungskopf nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Teile (4, 5) des Gehäuses mit einem Linear- oder Drehantrieb relativ zueinander verschiebbar sind.

11. Bearbeitungskopf nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Teile (4, 5) des Gehäuses mittels Elektromagneten teleskopförmig verschiebbar sind. 20

12. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse überwiegend aus einem Material guter Wärmeleitfähigkeit besteht. 25

13. Bearbeitungskopf nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse aus Kupfer und/oder einer Kupfer-Legierung besteht. 30

14. Bearbeitungskopf nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse mit Nickel oder einer Nickel-Legierung beschichtet ist.

15. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß im Gehäuse Kühlkanäle (12, 13) ausgebildet sind. 35

16. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß an der zur Oberfläche des Werkstückes weisenden Seite des Bearbeitungskopfes eine Schutzschicht ausgebildet oder eine Schutzscheibe angeordnet ist. 40

17. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß an einem Teil (4) des Gehäuses, durch das der Laserstrahl (7) gerichtet ist, eine austauschbare Düsenspitze (6), deren äußere Mantelfläche die Innenwandung des Ringspaltes (14) bildet, befestigt ist. 45

18. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das äußere Teil (5) des Gehäuses in Richtung auf das Werkstück in einer konischen Außendüse (3) endet, deren innere Mantelfläche die äußere Wandung des Ringspaltes (14) bildet. 50

19. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß im inneren Teil (4) des Gehäuses zur Kühlung ein umlaufender Ringkanal (13) ausgebildet ist. 55

20. Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß an der Verwirbelungskammer (1) ein mit einem Ventil verschließbarer Pulver-Gas-Auslaßkanal angeschlossen ist. 60

21. Verfahren zur Oberflächenbearbeitung mittels Laserstrahl, mit einem Bearbeitungskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 20, bei dem

- ein Laserstrahl (7) durch ein Gehäuse auf die Oberfläche eines Werkstückes gerichtet, 65
- in eine im Gehäuse ausgebildete Verwirbelungskammer (1) ein Pulver-Gasstrom eingeführt und durch Verwirbelung vermischt und homogen

in Bezug zur Längsachse des Laserstrahls (7) verteilt wird und durch einen konischen Ringspalt (14) so geführt wird, daß der Fokuspunkt des sich konisch verjüngenden Pulver-Hohlstrahls außerhalb des Bearbeitungskopfes liegt,

dadurch gekennzeichnet, daß

- das vermischte Pulver parallel zur Längsachse des Laserstrahls (7) über zylindrische Beruhigungskanäle (2) in den konischen Ringspalt (14) gelangt.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der auf die Oberfläche des Werkstückes gerichtete Pulver-Volumenstrom durch Variation der lichten Weite des Ringspaltes (14) gesteuert wird.

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß die lichte Weite des Ringspaltes (14) durch Relativbewegung zweier Teile (4, 5) des Gehäuses variiert wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe des Fokuspunktes des sich konisch verjüngenden Pulver-Hohlstrahls entsprechend der Größe des Strahlfleckes des Laserstrahls (7) auf der Oberfläche des Werkstückes eingestellt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

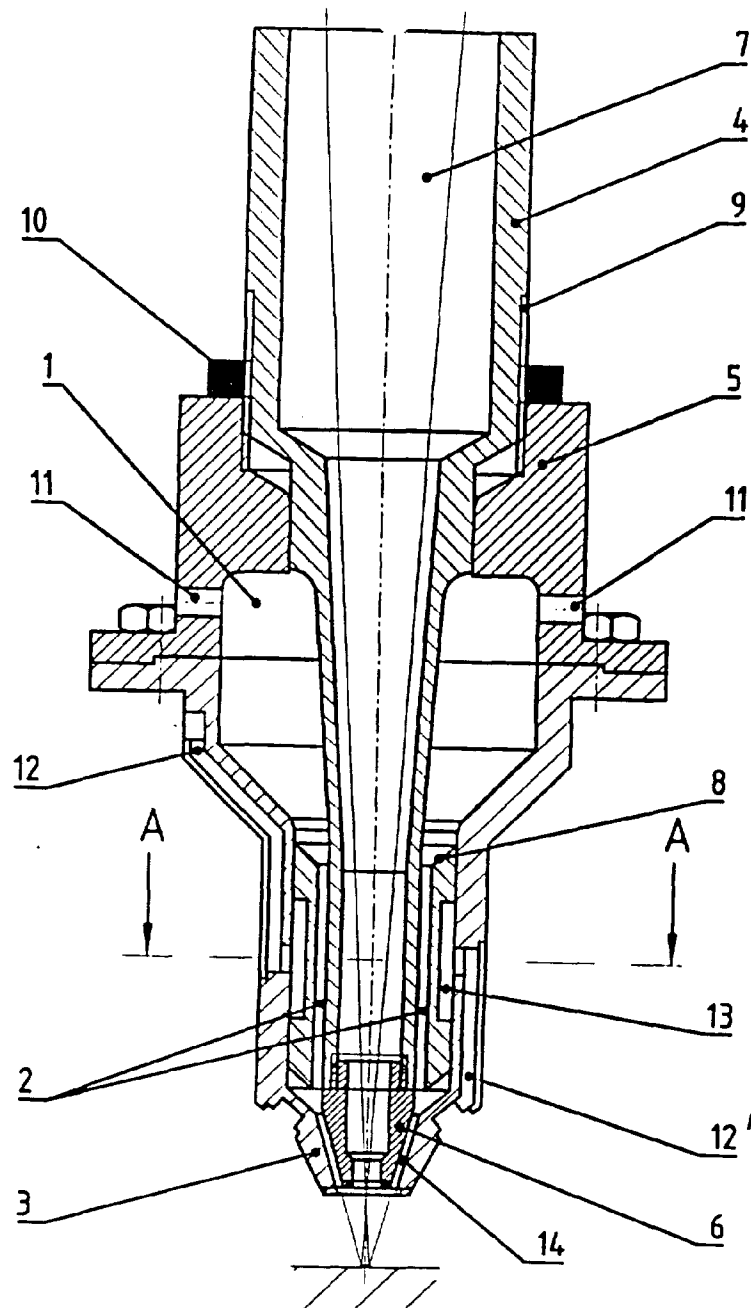
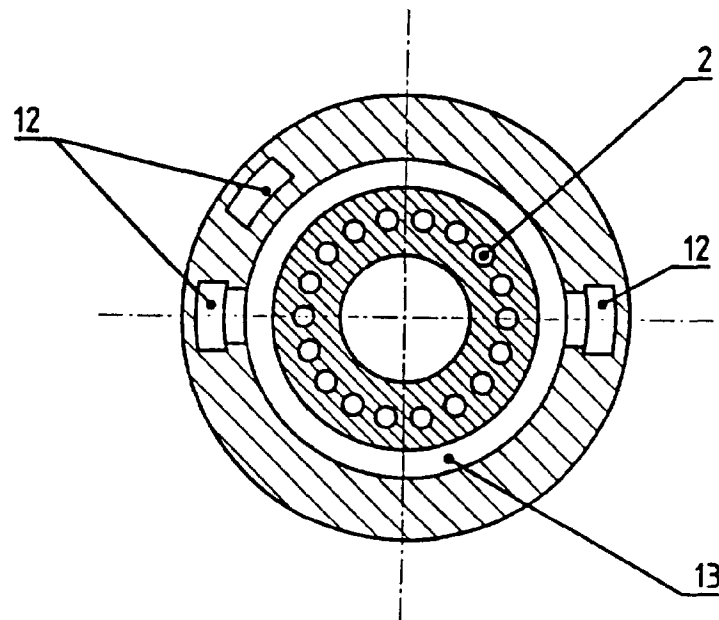


Figure 1

A - A



Figur 2